

THE HEFAISTOS SYSTEM

Vlastimil Mancí

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xmancl00@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Stanislav Pikula

E-mail: xpikul00@stud.feec.vutbr.cz

Abstract: This paper describes functionality and principle of Hefaistos system. This system is fully automated and modular. Its purpose is for measurement of frequency responses of materials and its temperature dependence. Article describes all of the parts of modular measurement system, which main part is control application, programmed in LabVIEW software environment. Application is used for synchronization of hardware i.e. synchronization of frequency analyzer with heating chamber. Final application is user friendly and offers frequency measurement with or without heating chamber. Possibilities of Hefaistos system are demonstrated on results of an example measurement.

Keywords: Frequency characteristics, impedance characteristics, Impedance analyzer, PZT ceramics, LabVIEW, National Instruments, Agilent 4294a, Wayne Kerr 6520B, HIOKI 3532, temperature dependence, Eurotherm, AOIP, GEMINI, HYPERION, SCPI

1 ÚVOD

Ve vědě, výzkumu či praxi je velmi často potřeba charakterizovat materiály či různé typy elektronických součástek. Nejčastěji se jedná o elektrické parametry jako jsou např. impedance, indukance a kapacitance. V některých případech je navíc nutné proměřit tyto parametry i v závislosti na teplotě. S tím souvisí i pořízení drahého laboratorního vybavení umožňující takové měření.

Na trhu měřicích přístrojů se vyskytují specifické uzavřené měřicí systémy, které jsou určeny pro stanovení konkrétního parametru, např. u piezoelektrické keramiky se jedná o často zmiňovaný piezoelektrický nábojový koeficient. Velkou nevýhodou těchto systémů je jejich vysoká cena a úzká oblast možného použití či uzavřenost celého systému.

Další možností je využít měřicí přístroj (impedanční analyzátor) a teplotní komoru, které je však nutné synchronizovat a vytvořit tak měřicí systém. Výhodou takového systému je jeho otevřenost a možná budoucí konfigurace, což z tohoto systému činí systém modulární. Tento článek se věnuje vývoji takového modulárního měřicího systému.

Systém bude využit na Ústavu automatizace a měřicí techniky pro měření elektrických parametrů keramických či piezoelektrických materiálů v závislosti na frekvenci a teplotě. Z teplotní závislosti lze získat například Curieovu teplotu piezoelektrických materiálů [1]. Měřením elektrických parametrů lze získat i všechny potřebné údaje pro vytvoření ekvivalentního náhradního schématu materiálu [2, 3]. To lze následně použít pro simulace či parametrizaci měřeného materiálu. Některé frekvenční analyzátoři jsou schopni tyto parametry stanovit přímo. Konkrétně se jedná např. o Agilent 4294a [4] či Wayne Kerr 6520B [5].

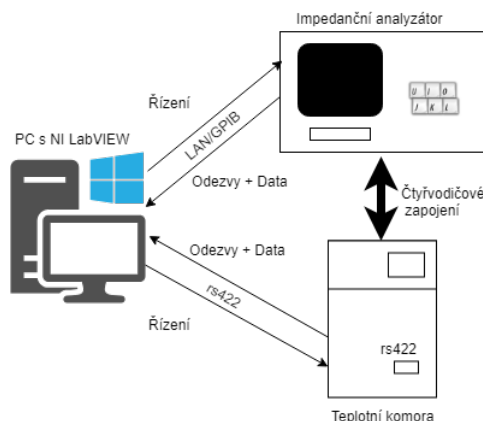
2 MĚŘICÍ SYSTÉM

V rámci tohoto článku je třeba stanovit si, že řídicí program slouží k řízení celého měřicího systému. Ovládací program slouží k ovládání impedančních analyzátorů.

Hlavní myšlenkou měřicího systému je využít libovolný z dostupných frekvenčních analyzátorů či teplotních komor. Uživatel si sám vybere s jakou konfigurací chce měřit.

Systém je založen na vzájemné komunikaci tří částí. Jimi jsou PC, impedanční analyzátor a teplotní komora. Řídicím členem celého systému je PC na němž je spuštěn řídicí program, vytvořený ve vývojovém prostředí LabVIEW od společnosti National Instruments. PC komunikuje s impedančními analyzátoři rozhraním GPIB či LAN. S pecí probíhá komunikace přes rozhraní RS422. Schéma zapojení modulárního měřicího systému je na obrázku 1.

K realizaci projektu byly dostupné tyto přístroje: Impedanční analyzátoři Agilent 4294a, Wayne kerr 6520b a RLC meter HIOKI 3532. Kalibrační pece AOIP GEMINI 700 LRI Basic a HYPERION Basic.



Obrázek 1: Principiální schéma modulárního měřicího systému HEFAISTOS.

Řídicí program zasílá příkazy v jazyce SCPI do analyzátorů. V případě teplotních komor volá ovladače dodané výrobcem. Přístroje v měřicím systému poskytují zpětnou vazbu o úspěšném provedení požadavků. Zároveň poskytují změřené data, či data o aktuální teplotě. Na základě zpětné vazby program provádí řízení celého systému.

Měřený materiál je uchycen ve speciálním přípravku, který je vložen do vnitřního prostoru kalibrační komory. Speciální přípravek je propojen se vstupy impedančního analyzátoru pomocí čtyřvodičového zapojení.

3 VÝVOJ ŘÍDICÍHO PROGRAMU

Pro vznik řídicího programu byly v prvním kroku vyvinuty samostatné ovládací programy pro obsluhu všech frekvenčních analyzátorů či RLC metru HIOKI. Části těchto ovládacích programů byly využity jako bloky subVI ve výsledném řídicím programu měřicího systému.

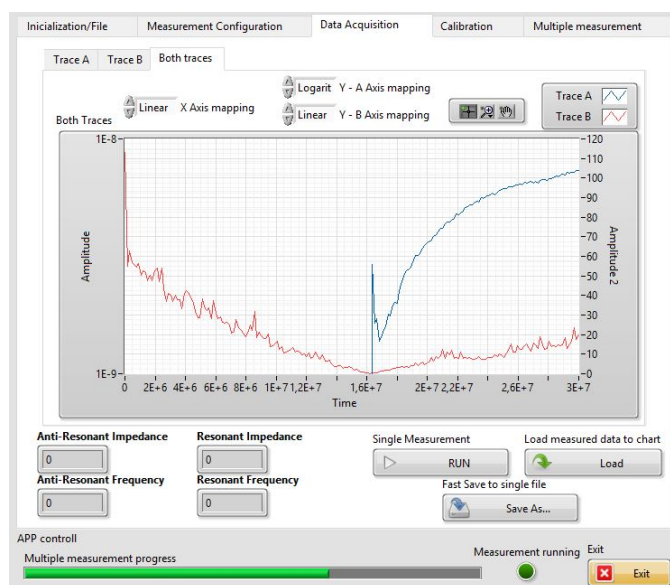
Pokud to bylo možné, tak byly v ovládacích programech použity bloky subVI ovladačů od výrobce přístrojů. Co se týče impedančních analyzátorů, tak vyhovovaly ovladače pouze u přístroje Agilent 4294A a to jen částečně. Ovladače musely být doplněny, jelikož poskytovaly pouze možnost konfigurace přístroje a vyčítání dat. Pro splnění požadavků aplikace musely být vytvořeny ovladače pro získání konfigurace přístroje. U přístroje Wayne Kerr 6520B a HIOKI 3532 bylo nutno vytvořit ovladače zcela nové, neboť jiné buď neexistují nebo nevyhovují požadavkům ovládacího programu. Ovladače byly vytvořeny použitím příkazů SCPI a se znalostmi získaných z prostudování technické dokumentace k přístrojům.

Výsledkem prvního kroku jsou ovládací programy impedančních analyzátorů, které umožňují vzdáleně konfigurovat měření, nahrát aktuální konfiguraci nebo získat a uložit naměřená data.

Ovladače kalibračních pecí nebylo nutné nijak upravovat. A mohly být tedy použity pro vývoj řídicího programu měřicího systému. Díky vzniklým ovládacím programům a ovladačům pece bylo možné přejít na druhý krok, ve kterém byl vyvinut řídicí program měřicího systému.

Řídicí program vychází z architektury "*Continuous measurement and logging*" [6]. Ta pracuje na principu paralelní struktury využívající pět paralelních while smyček. Hlavní smyčka obsluhuje neustálou kontrolu a detekci událostí. Tato smyčka, na základě události, řídí smyčku pro obsluhu zpráv. Smyčka obsluhy zpráv předává pokyny smyčkám pro sběr dat a pro ukládání dat. Poslední smyčka slouží pro neustálé zobrazování dat do grafu.

Paralelnost smyček propůjčuje možnost ovládat současně kalibrační komoru a analyzátor. Výsledný program je komplexní, událostmi řízený algoritmus. Program je doplněn i o algoritmy analýzy změřených hodnot, které, pokud existuje, naleznou a stanoví rezonanční a anti-rezonanční frekvenci společně s hodnotou impedance.



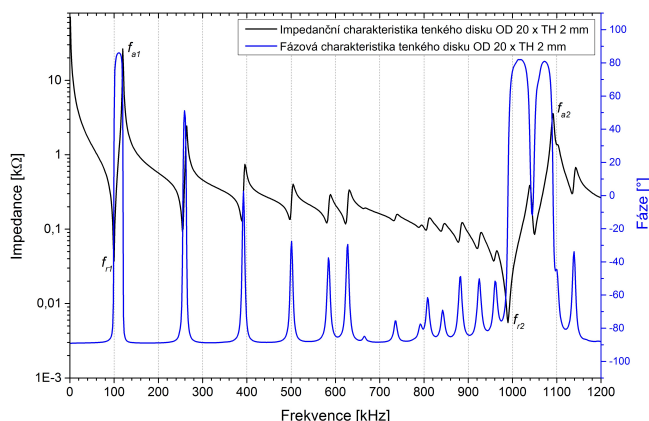
Obrázek 2: Ukázka uživatelského prostředí řídicího programu.

4 POPIS UŽIVATELSKÉHO ROZHRAŇÍ ŘÍDICÍHO PROGRAMU

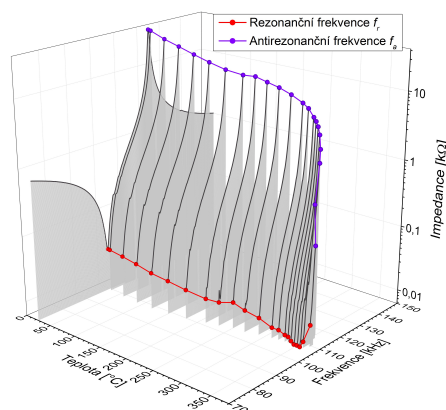
V programu má uživatel možnost zvolit si typ použitého analyzátoru a kalibrační komory. Dále si uživatel volí vícenásobné rozsahy frekvencí a parametr, který má na zadaných rozsazích systém změřit. Pro konfiguraci teplot si uživatel vždy volí teploty, při kterých je požadováno měření parametrů materiálu či součástky.

Nastavování teplot probíhá dvěma módy. Buď jsou teploty nastavovány a čeká se na jejich ustálení. Nebo nastavování teploty probíhá v módu teplotní rampy, při kterém je nutno zvolit krajní teploty a rychlost ohřevu ve $^{\circ}\text{C}/\text{min}$. V módu teplotní rampy neprobíhá ustálení na dané teplotě. Měření započne těsně před dosažením žádané teploty a skončí krátce po ní. Tento způsob nedosahuje takové přesnosti jako u metody ustálení, ale je často využíván při stanovení Curieovy teploty. Výsledky měření jsou zapisovány do souborů typu TDMS či CSV.

Automatizovaný modulární systém splňuje základní požadavky na měření průběhů impedančních případně fázových charakteristik viz obrázek 3a a současně stanovení teplotní závislosti v zadaném rozsahu teplot viz obrázek 3b.



(a) Frekvenční charakteristika impedance a fáze s vyznačením rezonanční a anti-rezonanční frekvence. Vzorek: Tenký disk OD = 20 mm × TH = 2 mm (průměr × tloušťka vzorku).



(b) Závislost impedance a fáze na frekvenci a teplotě v oblasti radiální rezonance.

Obrázek 3: Ukázka změřených frekvenčních závislostí.

5 ZÁVĚR

Byly vytvořeny ovládací programy pro dostupné impedanční analyzátory. Po otestování jejich funkčnosti byly společně s ovládáním teplotních komor upraveny do výsledné řídicí aplikace měřicího systému Hefaistos. Ten umožňuje měření samostatných impedančních charakteristik nebo i jejich závislost na teplotě. Výsledky ukázkového měření (závislost impedance na frekvenci a teplotě) je možné vidět na obrázku 3b. Tím byla demonstrována plná funkčnost systému.

Jelikož jsou dostupné tři analyzátory a dvě kalibrační pece, tak lze současně využívat až dva měřicí systémy pro získání elektrických frekvenčních charakteristik. Pokud je tedy požadavek pro měření dvou a více součástí, tak lze zkrátit délku měření až o polovinu.

REFERENCE

- [1] Jaffe, B., Cook Jr, W.R. & Jaffe, H., *Piezoelectric Ceramics*, Academic Press - London and New York, 1971, 315 p., ISBN 0-12-379550-8.
- [2] APC International, *Piezoelectric Theory and Applications, Piezoelectric Ceramics: Principles and Applications*, American Piezo Ceramics Inc., 2002, 112 p., ISBN 0-9718744-0-9.
- [3] Waanders, J.W., *Piezoelectric Ceramics: Properties and Applications*, 1st edition (4-91), Philips Components, Eindhoven – The Netherlands, ISBN 9398-651-80011.
- [4] Agilent Technologies Japan, Ltd.: *AGILENT 4294A Precision Impedance Analyzer - Operation Manual* [manual]. 7. vyd. Japonsko: Kobe Instrument Division, Únor 2003. Dostupné z URL: <<https://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/04294-90060.pdf?id=1000002189-1:eps:man>>. [cit. 2019-1-28]
- [5] Wayne Kerr Electronics Inc. *Precision Impedance Analyzers 6500 Series - User Manual*. Issue B. 2006.
- [6] National instruments. *Continuous Measurement and Logging*. Labview HELP [Project Template] 2014.